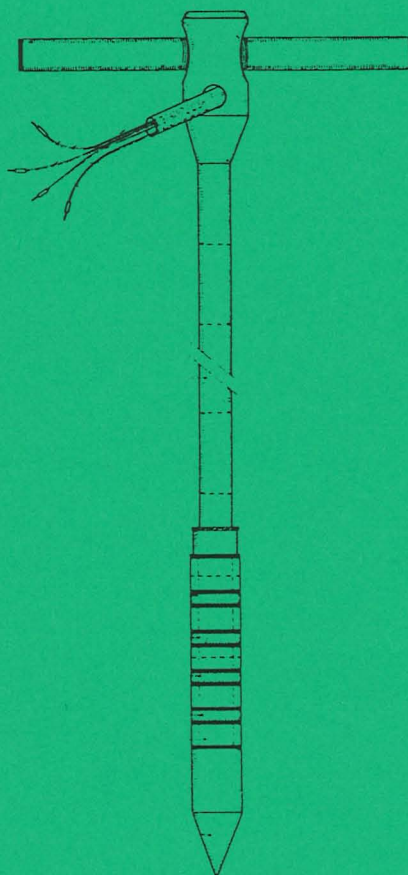




**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

BESTÄMNING AV MARKENS SALTHALT GENOM MÄTNING MED KONDUKTIVITETSSOND

Ingrid Wesström



**Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

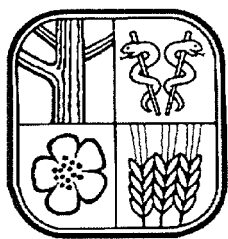
**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics**

**Avdelningsmeddelande 95:5
Communications**

Uppsala 1995

ISSN 0282-6569

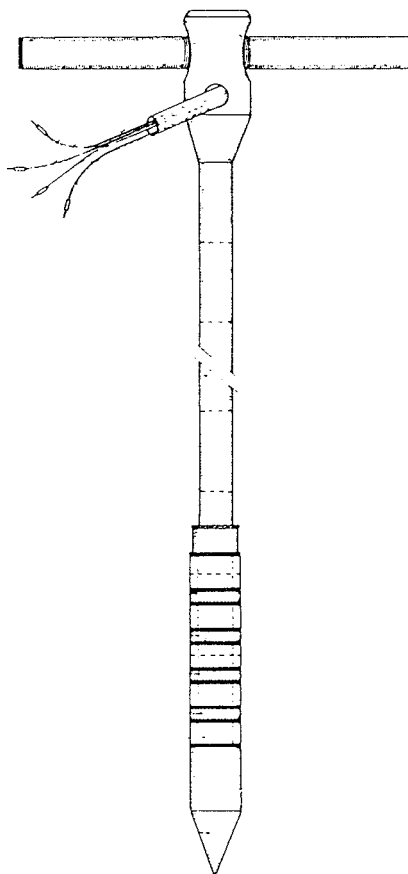
ISRN SLU-HY-AVDM-95/5-SE



**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

BESTÄMNING AV MARKENS SALTHALT GENOM MÄTNING MED KONDUKTIVITETSSOND

Ingrid Wesström



**Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics**

**Avdelningsmeddelande 95:5
Communications**

Uppsala 1995

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM-95/5-SE

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INLEDNING	3
MATERIAL OCH METODER	3
Elektrisk konduktivitet	3
Bestämning av markens salthalt genom mätning av elektrisk konduktivitet in situ, EC_b	4
Bestämning av EC_e	7
Vattenhalt i marken	8
Provtagningsplats	8
Bevattningsvatten	10
Nederbörd och evapotranspiration	11
RESULTAT	12
Vattenhalt i marken	12
Elektrisk konduktivitet	13
Samband mellan EC_b och EC_e	14
DISKUSSION	16
SAMMANFATTNING	17
LITTERATURFÖRTECKNING	18

INLEDNING

Åkermarken tillförs, genom gödselmedel och i torra områden genom bevattning, en stor mängd salter. Hur mycket salter som kan tillföras åkermarken utan skördarna sjunker beror på markens buffringsförmåga och utlakningsförhållandena.

Bestämning av markvätskans totala saltkoncentration sker idag rutinmässigt genom mätning av den elektriska ledningsförmågan i extraktet från ett uppslammat jordprov. En ökning av saltinnehållet i en lösning ger en ökad elektrisk ledningsförmåga. Koncentrationen av lösta ämnen påverkas av förhållandet mellan andelen vatten och andelen jord i provet. Mätning av saltkoncentrationen i ett jordextrakt kan därför endast ge relativa jämförelser, eftersom jordproverna utsätts för onormalt höga vattenhalter under extraktionen och inte återspeglar de verkliga saltkoncentrationerna i markvätskan vid uttag av jordprovet. Metoden är tidskrävande och kräver tillgång till ett laboratorium.

Ett behov finns av en enklare metod, som gör det möjligt att bestämma saltkoncentrationen i de övre marklagren direkt i fält. I denna undersökningen har en konduktivitetssond, även kallad EC-sond, använts för bestämning av konduktiviteten i markvätskan direkt i fält. Konduktivitetssonden mäter resistiviteten i marken. Ur erhållna resistivitetsvärden går det att beräkna den elektriska konduktiviteten och man får ett mått på saltkoncentrationen i marken. Syftet med undersökningen var att få en uppfattning om sondens användbarhet i fält, precision vid mätning samt att kalibrera sonden för provtagning i en sandjord och en lerjord. Undersökningen är utförd vid skärmtaksanläggningen, västra Ultuna.

MATERIAL OCH METODER

Elektrisk konduktivitet

För att få en fullständig bild av markens saltinnehåll hade det varit önskvärt att kunna mäta koncentrationen av enskilda joner direkt i fält, vid olika vattenhalter i marken mellan fältkapacitet och vissningsgräns. Idag finns inga metoder tillgängliga för att utföra detta i praktiken. Vad som går att mäta direkt i fält idag, är den totala koncentrationen av lösta ämnen i marken med hjälp av elektriska eller elektromagnetiska signaler från lämpliga sensorer. Vill man veta koncentrationen av enskilda joner måste prover av jord eller markvätska tas ut och analyseras.

Den totala salthalten i vatten och i mark kan bestämmas genom mätning av elektrisk konduktivitet (specifik ledningsförmåga). Elektrisk konduktivitet anger ett mediums förmåga att leda elektrisk ström. Bestämning av den elektriska konduktiviteten innebär vanligen mätningar av materialets resistans (R), uttryckt i ohm. Resistansen hos ett ledande material är omvänt proportionellt mot tvärsnittsarean och direkt proportionellt mot dess längd. Den uppmätta resistansens storlek är därför beroende av konduktivitetscellens, innehållande elektroder och provlösning, dimensioner. Specifik resistans (R_s) är resistansens av ett kubformat prov med sida en centimeter. Använda konduktivitetsceller har vanligen inte dessa dimensioner, man mäter endast en fraktion av den specifika resistansen. Denna fraktion kallas cellkonstant ($K=R/R_s$). Det omvända värdet av resistansen är konduktans (C), som uttrycks i omvända ohms dvs mhos. När cellkonstanten används konverteras mätt konduktans till specifik konduktans (dvs omvänt specifik resistans). Specifik konduktans kallas vanligen elektrisk konduktivitet,

EC där $EC = 1/R_s = K/R$.

Enligt internationell standard skall ledningsförmågan uttryckas i S/m (siemens per meter), där en dS/m motsvarar en mmho/cm. Vatten har en låg ledningsförmåga. Specifik ledningsförmåga i en lösning är därför nära relaterat till koncentrationen av lösta salter. Elektriska konduktiviteten ökar med mängden lösta salter och kan därför ge ett mått på total salthalt.

Den elektriska konduktiviteten påverkas av lösningens temperatur samt rörlighet, valens och relativ koncentration av de enskilda jonerna i lösningen. Vidare bildar en del joner par. En del av dessa jonpar är neutrala och bidrar inte till elektrisk konduktivitet.

Konduktiviteten i en lösning ökar med temperaturen. Höjningen sker med cirka 1,9 % per 1° C, (Rhoades, 1992). Mätningar av elektrisk konduktivitet relateras vanligen till en referenstemperatur av 25 ° C. Mätningar utförda vid avvikande temperatur kan omräknas till referenstemperaturen 25 ° C med hjälp av en temperaturkoefficient, f_t , enligt följande ekvation;

$$EC_{25} = EC_t \cdot f_t$$

Temperaturkoefficienten definieras enligt data från US Salinity Laboratory Staff, 1954, enligt följande;

$$f_t = (0,0004)t^2 - (0,0430)t + 1,8149 \quad \text{där } t = \text{temperaturen (}^{\circ}\text{C)} \text{ vid mätning av } EC_t$$

Bestämning av markens totala salthalt sker idag rutinmässigt genom mätning av den elektriska ledningsförmågan i extraktet från ett vattenmättat jordprov, EC_e . Total salthalt i marken kan också bestämmas i markvätskan, EC_{sw} , genom mätning av den elektriska konduktiviteten direkt i markvätskan. Vid normala markvattenförhållanden begränsas metoden av svårigheter med att utvinna tillräcklig mängd markvätska för att möjliggöra analys. Elektrisk konduktivitet i markvätskan kan mätas i fält med hjälp av salinitetssensorer av absorbtionstyp.

Indirekt kan man erhålla salthalten i marken genom mätningar av den elektriska konduktiviteten i ett vattenmättat jordprov, EC_p , eller in situ, EC_b . EC_p kan mätas direkt i fält eller i uttagna jordprover på laboratorium. EC_b mäts i fält med sonder som bygger på mätning av olika fysikaliska storheter som går att relatera till markens saltinnehåll. Storheter så som resistans, elektromagnetisk induktion och dielektricitetskonstant. Från EC_p och EC_b kan man beräkna salthalten i marken i termer av EC_e eller EC_{sw} .

Bestämning av markens salthalt genom mätning av elektrisk konduktivitet in situ, EC_b

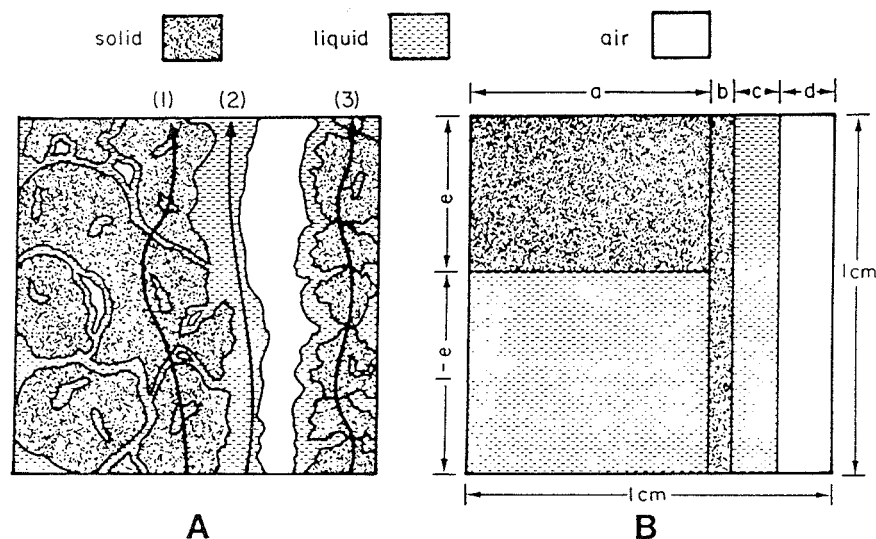
Den elektriska konduktiviteten i marken är beroende av markens struktur, textur, vattenhalt och markvattnets saltinnehåll. En indelning av den elektriska konduktiviteten i tre delar som verkar parallellt i marken, gör det möjligt att värdera olika faktorerers betydelse för markens totala salthalt. Indelningen kan ske enligt följande modell efter Sauer m fl (1955);

1. Konduktans genom omväxlande markpartiklar och markvätska (fast fas-vätskefas)

2. Konduktans genom markvätska (vätskefas)

3. Konduktans genom eller längs ytan av markpartiklar (främst genom utbytbara katjoner), som står i direkt kontakt med varandra (fast fas)

Figur 1 beskriver schematiskt en modell av elektrisk konduktivitet i marken med de tre ingående delarna (Rhoades m fl, 1989).

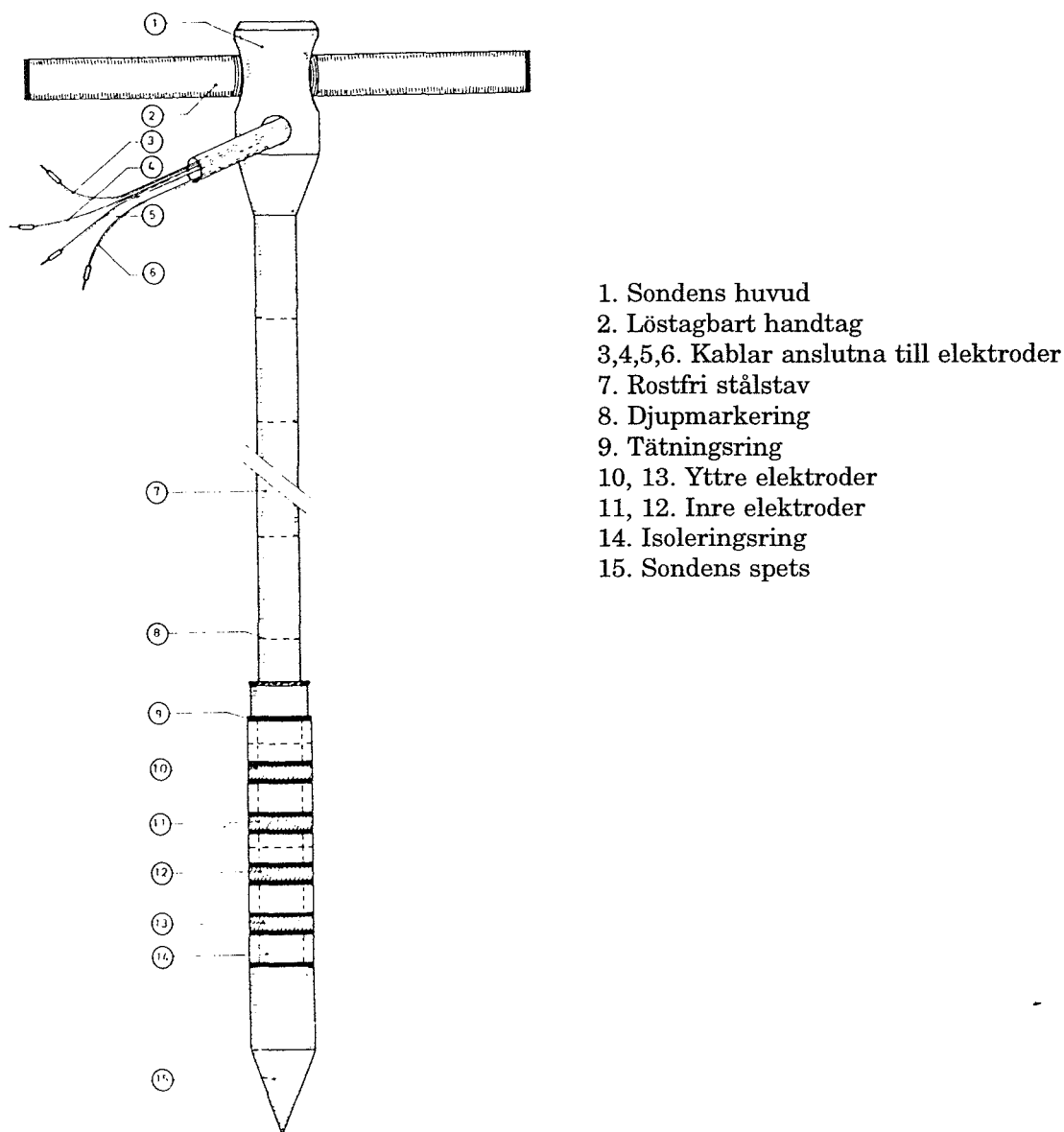


Figur 1. Schematisk modell av den elektriska konduktiviteten i marken. (A) Tre strömledande vägar i en omättad jord. (B) En förenklad modell av marken innehållande de tre strömledande vägarna (a-c), där a, b och c är tvärsnittsarean av respektive strömledare, d är tvärsnittsarean av luftfylld porvolym, e är längdparametern av den fasta fasen och $1-e$ är markvattnet som tillsammans med den fasta fasen utgör en av de strömledande vägarna. Återstoden av fast fas och vätskefas antas vara separata kontinuerliga strömledande vägar (Rhoades m fl, 1989).

Det finns tre olika typer av sensorer på marknaden idag för mätning av den elektriska konduktiviteten i marken; fyra-elektrod sensor, elektromagnetisk induktans sensor och TDR- (time domain reflectometry) teknik. I undersökningen har en konduktivitetssond av fyra-elektrod typ använts, för mätning av den elektriska konduktiviteten in situ, EC_e . Instrumentet har utvecklats av Rhoades och van Schilfgaarde, US Salinity Laboratory, Riverside, Kalifornien. Det bygger på samma principer som Wenner-systemet med fyra elektroduppsättningar, ett instrument som används för mätning av geo-elektrisk resistivitet.

Sonden består av en rostfri stålstav som är 1,10 m lång (figur 2). I stavens övre del mynnar en kabel innehållande fyra ledningar. Ledningarna är var och en anslutna till en av de fyra elektroderna placerade i stavens nedre del. Vid mätning ansluts ledningarna till en mark-resistansmätare av märket Geohm 2. Elektroderna avskiljs från varandra genom ringar av isolerande material. Tätningsringar på var sida om elektroderna förhindrar att vatten tränger in och kortsluter elektroderna. Sonden mäter över en omgivande elliptisk jordvolym vars storlek är beroende av avståndet mellan elektroderna,

a, enligt ekvationen $5\pi a^3/3$ (Rhoades m fl, 1976). Avståndet mellan elektrodernas centrum är i detta fallet 25 mm. Mätt jordvolym är ca 82 cm³.

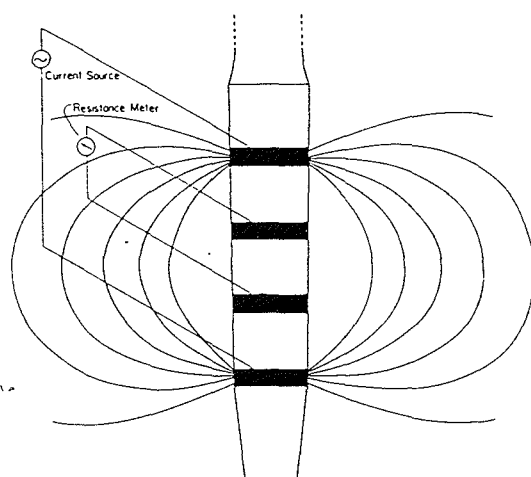


Figur 2. Elektrisk konduktivitetssond av fyraelektrod-typ (Nardeux humisol).

Vid mätning måste sonden ha en god kontakt med omgivande jord. Detta uppnås genom förborrade hål till önskat mätdjup med en jordborr (⌀ 24 mm). När sonden har installerats i marken induceras en elektrisk ström (I) mellan de två yttre elektroderna. Potentialsänkning (E) mäts mellan de två inre elektroderna (figur 3). Kvoten $R = E/I$ mäts som en resistans. Geohm 2 mäter markens resistans inom mätområdet 0-5 000 Ohm. Resistansen är omvänt proportionell mot elektriska konduktiviteten, som med hjälp av en cellkonstant kan beräknas från följande ekvation;

$$EC_b = \frac{1000 \cdot C \cdot f_t}{R}$$

- där EC_b = markens elektriska konduktivitet vid 25 °C i dS/m
- C = en empiriskt beräknad konstant, vars storlek är beroende av avståndet mellan och utformningen av elektroderna, genom vilken ett uppmätt värde av en godtycklig volym jord omräknas till ett specifikt värde per volymenhet jord. EC-sondens konstant är 0,02 cm⁻¹
- f_t = temperaturkoefficient
- R = uppmätt resistans i marken i ohm



Figur 3. Schematisk skiss över konduktivitetssondens mätprincip (Rhoades m fl, 1976).

Konduktivitetssonden bestämmer den elektriska konduktiviteten in situ, EC_b . EC_b -värdet syftar således inte på den elektriska konduktiviteten i en lösning utan på den elektriska konduktiviteten i marken innehållande vatten i vilket salter finns lösta. För att kunna uttrycka EC_b -värden i termer av de mer vanligt förekommande EC_e -värden, elektrisk konduktivitet i extraktet från ett vattenmättat prov, måste kalibreringskurvor som visar sambandet mellan EC_b och EC_e upprättas. Det finns olika metoder tillgängliga för upprättandet av kalibreringskurvor beroende av vilka mätmetoder som använts i fält och hur stor noggrannhet som eftersträvas. I denna undersökning har en jordarts-kalibreringsteknik används efter Rhoades (1992). Eftersom EC_b -värden också är beroende av markens textur, bör en kalibreringskurva utformas för varje mätt jordart.

Bestämning av EC_e

I jordprover, uttagna i samband med förborring vid installationen av konduktivitetssonden, har den elektriska konduktiviteten i extraktet från ett vattenmättat jordprov, EC_e uppmätts.

Lufttorkad jord har vattenmättas efter metodbeskrivning av Rhoades, 1982. Efter vattenmättnad överförs jordprovet till ett filter och extraktet sugas av med hjälp av en vakuumpump.

Den elektriska konduktiviteten i extraktet har bestämts med en konduktometer, E 382. Mätcellen består av två platta platinaelektroder av bestämd storlek och som sitter parallellt med ett bestämt avstånd ifrån varandra. När cellen sänks ned i en vätska ger den spänning som läggs på elektroderna upphov till ett strömflöde genom vätskekolonnen mellan elektroderna. Mätcellen fungerar som en elektrisk konduktor lydande under Ohm's lag. Konduktometern mäter resistansen i en lösning. Lösningens konduktivitet beräknas enligt följande ekvation;

$$EC = \frac{C}{R}$$

där EC = elektrisk konduktivitet i dS/m
 C = konduktivitetscellens konstant i cm⁻¹
 R = uppmätt resistans i kΩ

Bestämning av cellkonstanten sker genom mätning av resistansen i en lösning med känd elektrisk konduktivitet. Cellkonstanten är bestämd till 0,73 cm⁻¹.

Vattenhalt i marken

Vattenhalten i marken har vid provtillfället bestämts dels genom TDR (Time Domain Reflectometry)-mätningar och dels genom gravimetrisk analys i laboratorium. TDR-mätningar har även utförts före och efter bevattning med saltvatten.

Vattenhaltsbestämning i laboratorium har skett genom vägning av jordprover före och efter torkning. Beräkning av vattenhalten har utförts enligt följande;

$$\text{vattenhalt i viktprocent} = \frac{\text{vikt vatten} \cdot 100}{\text{vikt torr jord}}$$

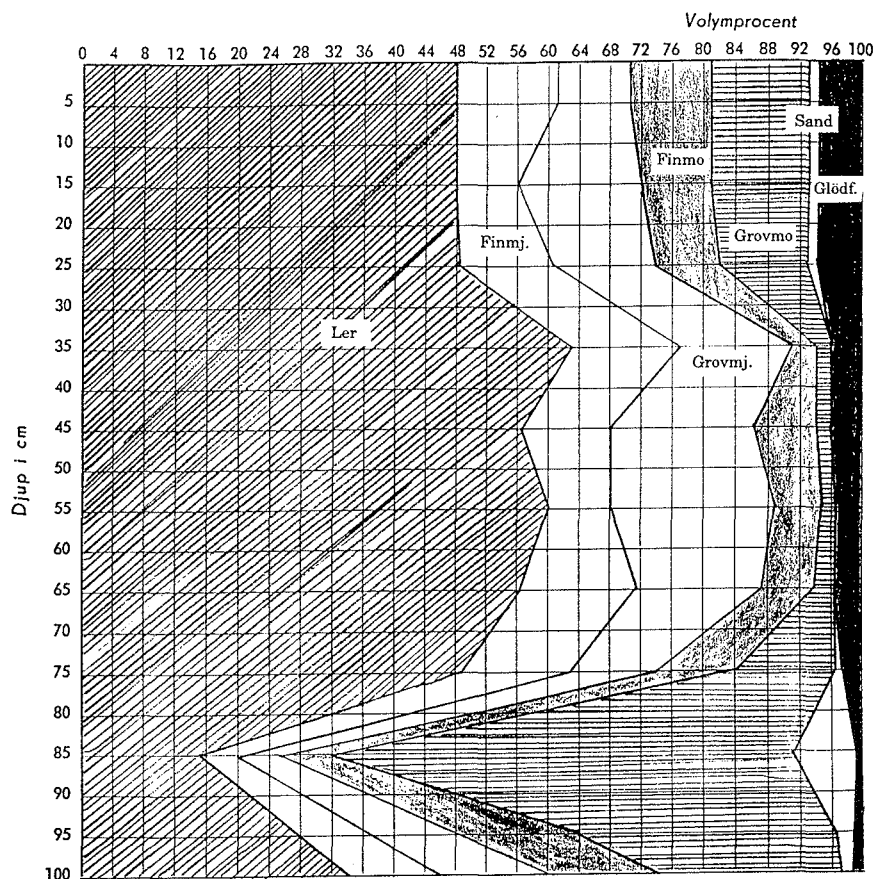
$$\text{vattenhalt i volymprocent} = \text{vattenhalt i viktprocent} \cdot \text{torr skrymdensitet}$$

Provtagningsplats

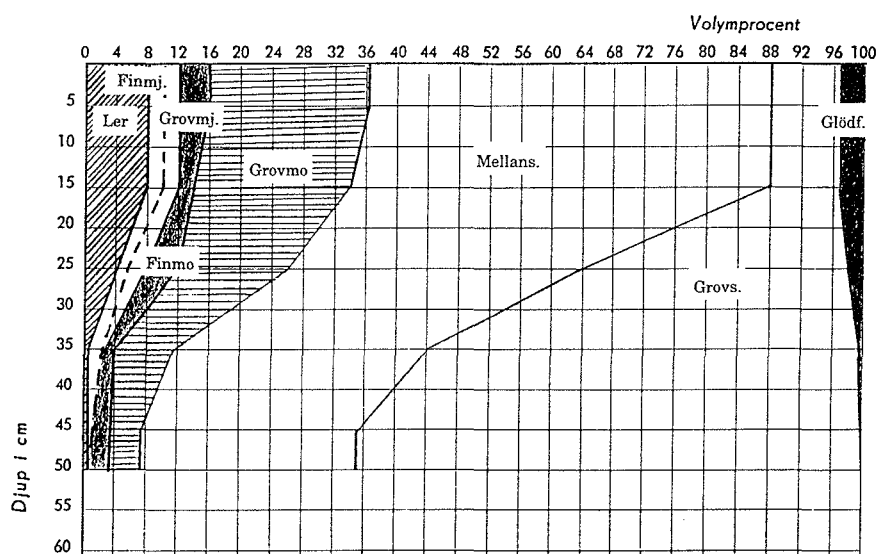
Provtagningen är utförd vid skärmtaksanläggningen belägen i västra delen av slätten vid Ultuna. Skärmtaksanläggningen består av två skärmtak, östra respektive västra skärmtaket.

Östra skärmtaket ligger på ursprunglig mark som i matjorden är en något mullhaltig styv lera. I alven finns ett sandmo-skikt på djupet 80-95 cm. Ovanför sandmo-skiktet är alven en styv lera (figur 4).

Det västra skärmtaket består av en uppbyggd sandjordsprofil. Profilen är utschaktad till 120 cm djup. Matjorden består av en något mullhaltig lerig moig sand. Alven är till största delen en sandjord (figur 5).



Figur 4. Kornstorleksfördelning för den styva leran vid östra skärmtaket, Ultuna.



Figur 5. Kornstorleksfördelning för den uppbyggda sandjordsprofilen vid västra skärmtaket, Ultuna.

Jordarnas byggnad och fysikaliska egenskaper beskrivs utförligt i en sammanställning av Johansson, 1986. På lerjorden genomfördes fältstudier och uttag av jordprover för fysikalisk analys 1983 och på sandjorden 1986.

I tabell 1 redovisas jordarnas vattenhalt i volymprocent vid olika vattenavförande tryck samt torr skrymdensitet. Vattenhaltsvärdena anger hur mycket vatten som hålls kvar i marken efter avsugning vid 0,05 till 6,0 m v p eller utpressning vid 150 m v p vattenavförande tryck.

Tabell 1. Sammanställning av markfysikaliska data för ler- respektive sandjordsprofilen

Djup (cm)	Vattenhalt i volymprocent vid ett vattenavförande tryck av (m v p),						Torr skrym- densitet (g/cm ³)
	0,05	0,50	1,00	2,00	6,00	150	
<u>Lerjord</u>							
0-10	44,9	43,3	42,4	40,9	37,6	24,4	1,38
10-20	45,1	43,7	43,1	41,8	38,8	26,1	1,41
20-30	47,0	43,7	43,1	42,2	39,3	27,9	1,34
<u>Sandjord</u>							
0-10	39,2	38,0	28,9	-	18,8	5,8	1,42
10-20	38,9	37,0	26,3	-	18,4	6,1	1,47
20-30	36,3	19,7	13,9	-	10,4	3,3	1,52

Fem provytor, 1 * 1 m, på lerjorden och fem provytor på sandjorden har bevattnats med vatten innehållande olika saltkoncentrationer.

Bevattningsvatten

Bevattning med vatten innehållande olika höga saltkoncentrationer har utförts vid tre tillfällen. Bevattningsgivorna redovisas i tabell 2.

Tabell 2. Bevattningsgivor samt datum för bevattning

Försöksyta	<u>Bevattningsgiva vid respektive bevattningstillfälle (mm)</u>		
	22/6	29/6	12/7
Lerjord	60	40	40
Sandjord	40	30	30

Ruta 1 på ler- respektive sandjorden har bevattnats med kommunalt vatten och övriga rutor har bevattnats med vatten med olika saltkoncentration. Elektrisk konduktivitet i bevattningsvattnet redovisas i tabell 3.

Tabell 3. Elektrisk konduktivitet (EC_w) i bevattningsvattnet

Rutnummer	<u>EC_w vid respektive bevattningstillfälle (dS/m)</u>		
	22/6	29/6	12/7
Ruta 1	1,3	1,3	0,9
Ruta 2	3,7	2,6	2,2
Ruta 3	7,0	3,8	4,1
Ruta 4	15,0	7,9	4,7
Ruta 5	19,4	10,4	10,4

Nederbörd och evapotranspiration

Nederbördsmätningar är hämtade från Ultuna meteorologiska station belägen i anslutning till skärmtaksanläggningen. På stationen utförs väderleksobservationer dagligen kl 8. I tabell 4 redovisas daglig nederbörd och evapotranspiration beräknad efter Penman.

Tabell 4. Daglig nederbörd och evapotranspiration enligt observationer vid Ultuna meteorologiska station

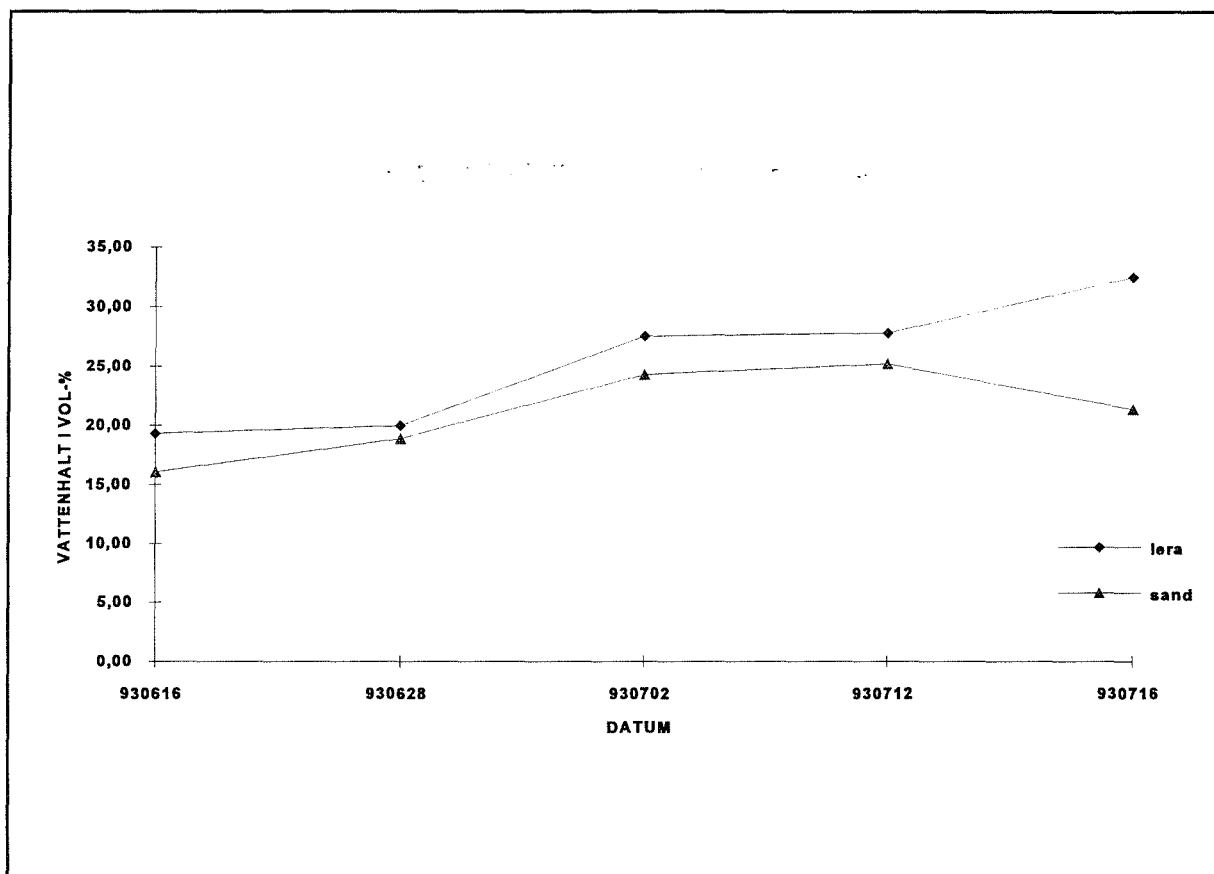
Datum	Nederbörd (mm)	Evapotrans- piration (mm)	Datum	Nederbörd (mm)	Evapotrans- piration (mm)
<u>Juni</u>			<u>Juli</u>		
22	0	2,8	1	0	3,3
23	0	3,2	2	0	4,5
24	0,7	2,5	3	1,2	2,1
25	1,7	3,0	4	0	3,8
26	0	4,1	5	1,3	3,5
27	0	3,8	6	0,6	3,9
28	1,3	2,7	7	0	3,1
29	3,9	2,9	8	0,8	3,6
30	0	4,2	9	5,4	1,8
			10	1,0	4,3
			11	0,9	1,7
			12	0	3,8

RESULTAT

Vattenhalt i marken

Vattenhalten i marken har bestämts vid fem provtagningstillfällen (figur 6). De fyra första mätningarna har skett med TDR-utrustning före bevattningar med saltvatten. Den femte vattenhaltsbestämningen har utförts gravimetriskt i samband med provtagning för mätning av EC_e .

Efter andra bevattningen gick vattenhalten endast att mäta ned till 15 centimeters djup på grund av utsläckning av TDR-kurvan orsakad av förhöjd salthalt i marken.



Figur 6. Vattenhalt i volymprocent medelvärde av fem provytor på ler- respektive sandjord vid 15 cm djup.

Elektrisk konduktivitet

Den elektriska konduktiviteten i marken (EC_b) respektive i mättat extrakt (EC_e) redovisas i tabell 5. Fem parallella prover har tagits ut på var och en av de fem provytorna bevattnade med olika salthaltigt vatten. Provyta 1 motsvarar bevattning med kranvatten.

EC_b -värdena är justerade till värden motsvarande mätning vid 25° C enligt ekvationen på sidan 4.

Tabell 5. EC_b - och EC_e -värden för sand (S)- respektive lerjord(L) på 15 centimeters djup efter bevattning med fem olika salthaltiga bevattningsvatten (ruta 1-5)

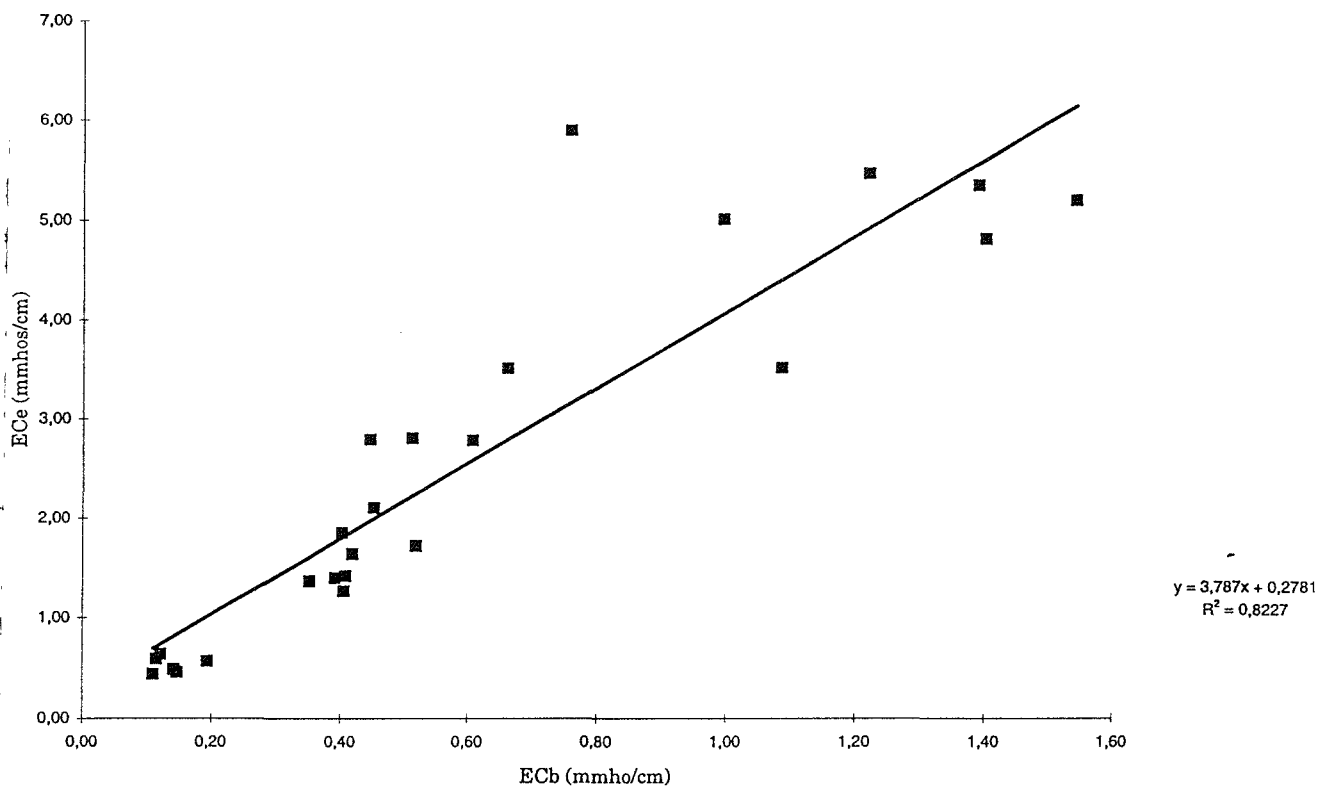
Ruta	Sand		Ruta	Lera	
	EC_b (dS/m)	EC_e (dS/m)		EC_b (dS/m)	EC_e (dS/m)
S11	0,11	0,59	L11	0,51	1,16
S12	0,15	0,46	L12	0,43	0,65
S13	0,19	0,57	L13	0,46	0,48
S14	0,11	0,44	L14	0,47	0,61
S15	0,14	0,49	L15	0,46	0,56
S21	0,39	1,40	L21	0,75	0,78
S22	0,41	1,42	L22	0,72	0,81
S23	0,41	1,27	L23	0,66	0,65
S24	0,42	1,64	L24	0,74	0,95
S25	0,35	1,37			
S31	0,45	2,10	L31	0,86	1,23
S32	0,52	1,72	L32	0,93	1,39
S33	0,40	1,85	L33	0,78	1,01
S34	0,12	0,64	L34	0,82	1,39
S35	0,51	2,80			
S41	0,61	2,78	L41	1,37	2,31
S42	0,66	3,51	L42	1,30	2,43
S43	0,45	2,79	L43	1,21	2,30
S44	0,76	5,89	L44	1,28	2,58
S45	1,40	4,80			
S51	1,09	3,51	L51	1,14	4,01
S52	1,22	5,45	L52	1,51	4,24
S53	1,39	5,33	L53	1,34	4,59
S54	1,00	5,00	L54	1,59	3,58
S55	1,54	5,18			

Samband mellan EC_b och EC_e

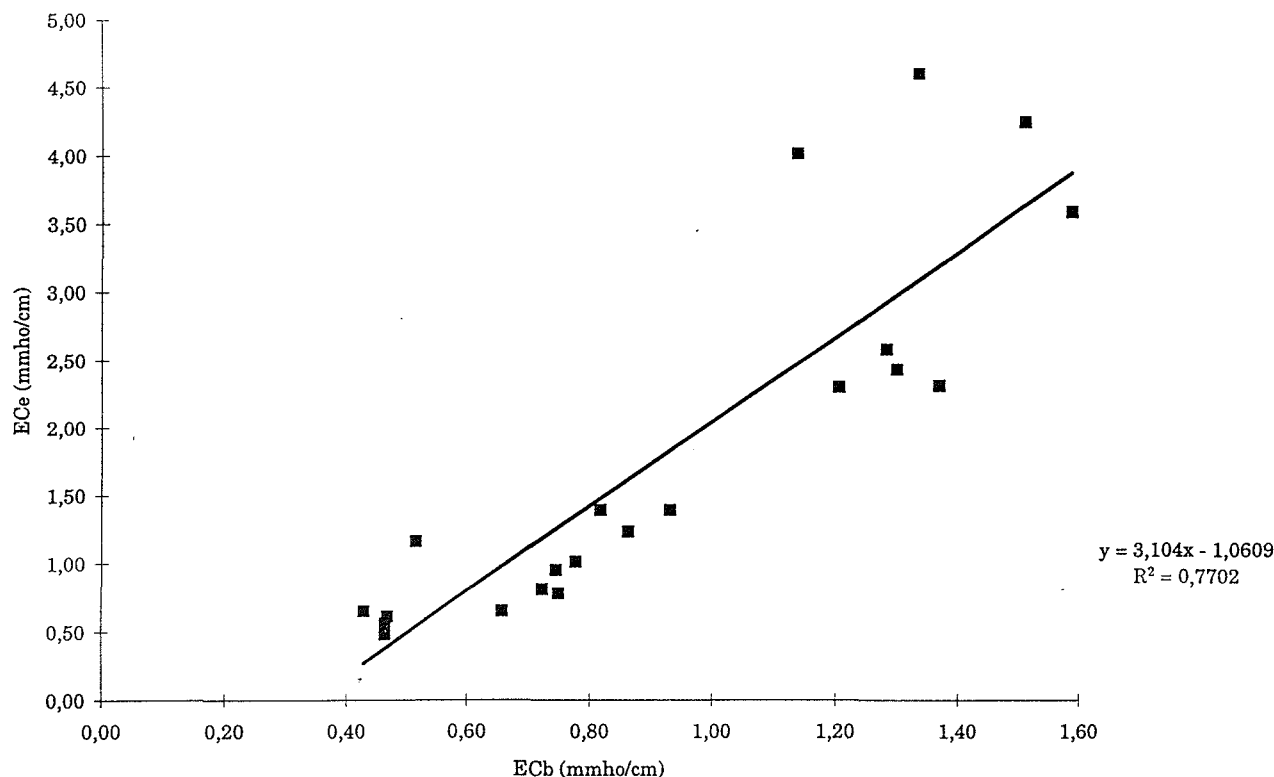
Från uppmätta värden av EC_b och EC_e har två kalibreringskurvor upprättats med hjälp av regressionsanalys, en för sandjorden och en för lerjorden. En anpassning av mätvärden till en linjär funktion har skett genom minsta kvadratmetoden. Minsta kvadratmetoden innebär att man försöker minimera summan av kvadraterna av datapunkternas avvikelser från regressionsfunktionen. Regressionsstatistiken för kalibreringskurvorna redovisas i tabell 6 och kalibreringskurvorna redovisas i figur 7 och 8.

Tabell 6. Regressionsstatistik för kalibreringskurvor

	Sand	Lera
Multipel-R	0,91	0,88
R-kvadrat	0,82	0,77
Justerad R	0,82	0,76
Standardfel	0,78	0,65
Observationer	25	21



Figur 7. Sambandet mellan EC_b och EC_e för en sandjord.



Figur 8. Sambandet mellan EC_b och EC_e för en lerjord.

DISKUSSION

Undersökningen är utförd vid skärmtaksanläggningen, västra Ultuna på den ursprungliga lerjorden samt på en uppbyggd sandjordsprofil. Syftet med studien var att kalibrera sonden, samt att undersöka användbarheten vid mätning av saltkoncentrationen i fält. För att kunna genomföra detta krävdes en inledande bevattning med vatten innehållande olika saltkoncentrationer, varefter en kalibringskurva upprättades med hjälp av regressionsanalys.

Vattenhalten i marken var före första bevattningen motsvarande en dräneringsjämvikt på 6 m vp på sandjorden respektive vid vissningsgränsen på lerjorden. Tillförd mängd vatten, 140 mm på lerjorden respektive 100 mm på sandjorden, har inte varit tillräcklig för att vattna upp jordarna till önskvärd vattenhalt. Metoden bygger på mätning vid fältkapacitet. Mätningarna på lerjorden visar att vid en lägre vattenhalt än fältkapacitet får man högre EC_b -värden och därmed en lägre riktningskoefficient för kalibreringskurvan än vid mätning vid fältkapacitet.

Flera upprepade bevattningar med salthaltigt vatten före provtagningen, hade även varit önskvärt i syfte att ytterligare bygga upp saltkoncentrationen i marken. Tidigare undersökningar visar att i vårt humida klimat krävs det fyra normala bevattningar med östersjövatten utan nederbörd i mellan för att saltkoncentrationen i markvätskan ska uppnå tillförda vattnets koncentration.

Att spridning av mätpunkter ökar vid ökad saltkoncentration i marken på lerjordar är troligen orsakad av svårigheter vid avsugning av mättat extrakt för bestämning av EC_e . Detta på grund av att större andel vatten är osmotiskt bundet till lermineralerna. Ändrade laboratorierutiner borde kunna avhjälpa detta.

Största nackdelen med sonden är att för att få tillförlitliga värden krävs mätning vid

fältkapacitet i marken. Detta begränsar sondens användningsområde till mätningar efter bevattning eller på våren när marken är nära vattenmättad.

Alla mätningar måste dessutom kombineras med marktemperaturmätningar för att möjliggöra en justering till mätning vid 25°C.

När kalibreringskurvan är upprättad är metoden tidsbesparande. Mindre noggranna mätvärden kan i de flesta fall kompenseras av möjligheten att enkelt utföra många upprepningar. Med reservation för mätning i alven på styva lerjordar vilket kräver en betydande arbetsinsats med nuvarande utformning på sonden.

Efter utförda kalibreringar borde sonden vara ett utmärkt hjälpmedel för att få en översikt av hur saltkoncentration i marken utvecklas vid t ex användning av salthaltigt vatten till bevattning på årlig basis. I undersökningar som kräver mer noggranna mätningar av saltkoncentrationen i marken under kortare tidsintervaller, vid mätningar vid olika vattenhalter i marken, måste andra metoder tillämpas.

SAMMANFATTNING

Bestämning av markvätskans totala saltkoncentration sker idag rutinmässigt genom mätning av den elektriska ledningsförmågan i extraktet från ett uppslammat jordprov, EC_e . Ett behov finns av en enklare metod, som gör det möjligt att bestämma saltkoncentrationen i de övre marklagren direkt i fält. I denna undersökningen har en konduktivitetssond, även kallad EC-sond, använts för bestämning av konduktiviteten i markvätskan in situ, EC_b . Konduktivitetssonden mäter resistiviteten i marken. Från erhållna resistivitetsvärden beräknas den elektriska konduktiviteten. För att kunna uttrycka EC_b -värden i termer av de mer vanligt förekommande EC_e -värdena, måste kalibreringskurvor upprättas. Syftet med undersökningen var att få en uppfattning om sondens användbarhet i fält, precision vid mätning samt att kalibrera sonden för provtagning i en sandjord och en lerjord. Undersökningen är utförd vid skärmtaksanläggningen, västra Ultuna.

För att kunna genomföra undersökningen krävdes en inledande bevattning med vatten innehållande olika saltkoncentrationer. Fem provtytor, 1 * 1 m, på lerjorden respektive på sandjorden, har bevattnats vid tre tillfällen.

I jordprover, uttagna i samband med mätning med konduktivitetssonden, har den elektriska konduktiviteten i extraktet från ett vattenmättat jordprov, EC_e bestämts. Från uppmätta värden av EC_b och EC_e har två kalibreringskurvor upprättats med hjälp av regressionsanalys, en för sandjorden och en för lerjorden.

Största nackdelarna med sonden är att för att få tillförlitliga värden krävs mätning vid fältkapacitet i marken och att mätningar måste kombineras med marktemperaturmätningar. Sonden kräver en betydande arbetsinsats vid mätning på styva lerjordar med nuvarande utformning på sonden.

Efter utförda kalibreringar borde sonden vara ett utmärkt hjälpmedel för att få en översikt av hur saltkoncentration i marken utvecklas vid t ex användning av salthaltigt vatten till bevattning på årlig basis. I undersökningar som kräver mer noggranna mätningar av saltkoncentrationen i marken under kortare tidsintervaller, vid mätningar vid olika vattenhalter i marken, måste andra metoder tillämpas.

LITTERATURFÖRTECKNING

- Johansson, W. 1986. Opublicerat material. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst. för markvetenskap. Avd. för lantbrukets hydroteknik.
- Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. *Agronomy Monograph*. 9:167-178.
- Rhoades, J. D. 1992. Electrical conductivity methodes for measuring and mapping soil salinity. *Advances in Agronomy*. 49:201-251.
- Rhoades, J. D. & van Schilfgaarde, J. 1976. An electrical conductivity probe for determining soil salinity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:647-651.
- Rhoades, J. D., Manteghi, P. J., Shouse, P. J. & Alves, W. J. 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 433-439.
- Sauer, M. C., Jr., Southwick, P. E., Spiegler, K. S., och Wyllie, M. R. J. 1955. Electrical conductance of porous plugs: Ion exchange resin - solution systems. *Ind. Eng. Chem.* 47: 2187-2193.
- US Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Dep. Agr. handbook 60. 160 p.

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE. Fr o m 1993

- 93:1 Jansson, C. Rekonstruktion av naturlig vattenförling i Österdalälven och värdering av regleringsnytta. 30 s + 5 bil.
- 93:2 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E. Resultat av 1992 års fältförsök avseende detaljavvattning, markvård och markförbättring samt bevattning. 83 s.
- 93:3 Joel, A. & Wesström, I. Vattenhushållning vid bevattning - en studie av tillämpad bevattningsteknik i Sidi Bouzid-distriktet, Tunisien. 54 s.
- 93:4 Jansson, P-E. SOIL model. User's Manual. Second edition. 65 s.
- 93:5 Danfors, B. & Linnér, H. Resursbevarande odling med marktäckning och grund inbrukning av växtmaterial. 86 s.
- 93:6 Jansson, P-E. PLOTPF. User's manual. 33 s.
- 93:7 Båth, A. Studier av rotutveckling och markvattenhalt i försök med marktäckning. 71 s.
- 94:1 Tabell, L. Tjäle i torvjord. 46 s
- 94:2 Halldorf, S. Runoff water as a soil forming factor in arid zones. 62 s.
- 94:3 Jansson, P-E. SOIL model. User's Manual. Third edition. 66 s.
- 94:4 Eckersten, H., Jansson, P-E. & Johnsson, H. SOILN model. User's manual. Second edition. 58 s.
- 94:5 Persson, R. (ed.). Proceedings, NJF-seminar no 247, Agrohydrology and nutrient balances, October 18-20, 1994, Uppsala, Sweden. 111 s.
- 95:1 Alavi, G. Radial stem growth and transpiration of Norway spruce in relation to soil water availability. Granens tillväxt och transpiration i relation till markvattnets tillgänglighet (Licenciatavhandling). 13 + 11 + 14 s.
- 95:2 Johansson, W. & Fellin, O. Biogas från vall. Teknik och ekonomi vid odling, skörd, transporter, ensilering samt rötning med tvåstegsteknik. 38 s.
- 95:3 Svensson, E., Linnér, H. & Carlsson, H. Utvärdering av växtanalys i fabrikspotatis. 53 s.
- 95:4 Andersson, A. Vattentillgångar för bevattning i Kalmar län. I. Litteraturoversikt. II. Intervjuundersökning rörande vattenmagasin. 48 s.
- 95:5 Wesström, I. Bestämning av markens salthalt genom mätning med konduktivitetssond. 18 s.